

熱せられた直線の針金から種々の距離にある

1 点が受ける輻射熱の強さ

杉原 雅・三村泰一郎・塩崎雅央・内海紀雄

Intensity of radiated heat received at a different point of various distances from a heated straight wire

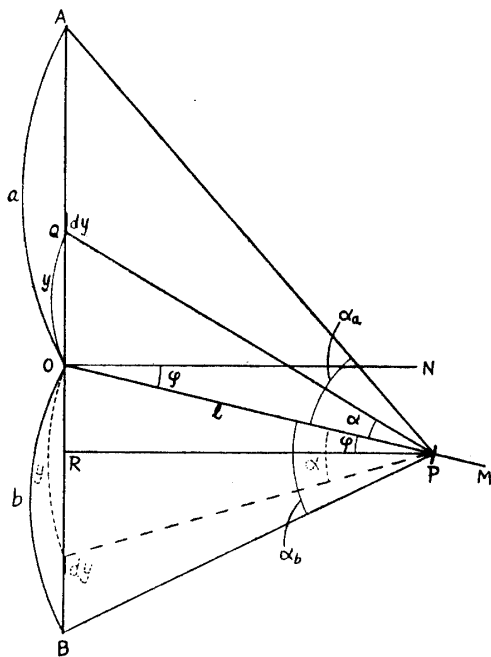
MIYABI SUGIHARA, TAIICHIRO MIMURA, MASAHIRO SHIOZAKI and NORIO UTSUMI

I 概 要

ニクロム線を水平に一直線に張りその中点から垂直方向に於て、又1端より $\frac{1}{4}$ の点から垂直方向に於て、及びその垂直方向とニクロム線の近い方の1端の側に 1° の角をなす方向に於て夫々色々な距離にある1点が受ける輻射熱の強さはニクロム線からの距離と一定の関係にある。

II 理 論

1図に於て針金AB上の任意の1点Oから針金に引いた垂線ONと φ なる角をなす方向OM上の1点Pに極めて小さい受熱面をOMに垂直に置く。OからOA方向に長さOQ=yを取り此処に微小の長さdyを考える。Pか



1図

らABに垂線PRを引き $\angle OPQ$ を α 、OPを l 、針金の単位長から単位時間にPの側に放出する輻射熱を k 、受熱面が単位時間に受取る熱量を dH とすれば次式が成立する。

$$dH = \frac{k dy \cos(\alpha + \varphi) \cos \alpha}{(y + l \sin \varphi)^2 + (l \cos \varphi)^2} \quad (1)$$

$$y + l \sin \varphi = l \cos \varphi \cdot \tan(\alpha + \varphi) \quad (2)$$

であるから此式から dy と $d\alpha$ との関係を求め(1)の分母に(2)を入れれば

$$dH = \frac{k}{l \cos \varphi} \cdot \cos(\alpha + \varphi) \cos \alpha d\alpha \quad (3)$$

を得る。 $\cos(\alpha + \varphi)$ を展開して(3)式の右辺の項を2個にし積分を行う。OA=a, $\angle OPA = \alpha_a$ としOAについてのHを H_a で表わし(3)式を積分して極限值を入れれば次式を得る。

$$H_a = \frac{k}{2l} \left[\alpha_a + \frac{\sin 2\alpha_a}{2} - \tan \varphi \sin^2 \alpha_a \right] \quad (4)$$

同様にしてOBについては

$$H_b = \frac{k}{2l} \left[\alpha_b + \frac{\sin 2\alpha_b}{2} + \tan \varphi \sin^2 \alpha_b \right] \quad (5)$$

を得る。依ってABについては(4)(5)の和であり此時のHを H_φ で表わせば次式が得られる。

$$H_\varphi = \frac{k}{2l} \left[\left(\alpha_a + \frac{\sin 2\alpha_a}{2} - \tan \varphi \sin^2 \alpha_a \right) + \left(\alpha_b + \frac{\sin 2\alpha_b}{2} + \tan \varphi \sin^2 \alpha_b \right) \right] \quad (6)$$

針金に垂直方向に受熱面がある場合は(6)式の $\varphi = 0$ である。その時のHを H_a で表わせば

$$H_a = \frac{k}{2l} \left[\left(\alpha_a + \frac{\sin 2\alpha_a}{2} \right) + \left(\alpha_b + \frac{\sin 2\alpha_b}{2} \right) \right] \quad (7)$$

となる。針金の中点に於て垂直方向に受熱面がある場合は $a = b$ 即ち $\alpha_a = \alpha_b$ である。その時のHを H_m で表わせば(7)式より

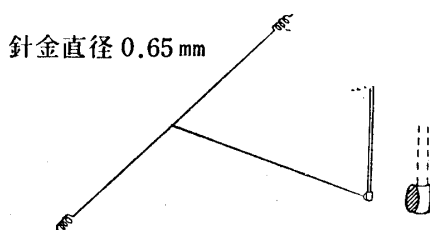
$$H_m = \frac{k}{l} \left[\alpha_a + \frac{\sin 2\alpha_a}{2} \right] \quad (8)$$

此のHにより寒暖計が温度 θ だけ上昇したとし寒暖計の球及び受熱器の水当量を w とすれば H_φ , H_a , H_m は何

れも $w\theta$ であるから θ と (6)(7)(8) 式の右辺の $-\frac{k}{2}$ 又は k を除いた残りの部分と直線関係にある。

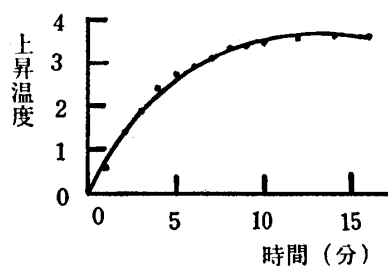
■ 実験方法

本実験は理論と実験が一致するや否やを検査するために実施された。2 図に実験装置の要点を示す。針金として直径 0.65mm のニクロム線を 1m 水平に直線に引張り加熱しても両端のバネで常に水平に引張るようにした。スライダック、アンペア計、ボルト計を回路に入れ電圧



2 図

を一定に保つ。受熱器は縦 1.3cm 横 1.1cm の楕円形の平面を有する銅管であって之を寒暖計の球に箆め受熱面は黒色に塗られてある。此程度の大きさならば針金の長さに比して点と考えても大した差はなかろう。数分加熱して針金が定常状態になってから受熱面に輻射熱を受け 1~2 分毎に寒暖計の読みをとり上昇温度と時間との関係を図に画く。その一例を 3 図に示す。距離 l は 5cm から 20cm までの 5 段階か更に 25cm を加えて 6 段階とし同一距離について同一の実験を 3 回繰返した。受熱器は



3 図

中央より垂直方向、針金の長さ 1 m (30V7A)

針金からの 距離 l cm	番 号	気温 $^{\circ}\text{C}$	飽和温度 θ_s $^{\circ}\text{C}$	補 正 量 θ_c $^{\circ}\text{C}$	放熱のない場合の 上昇温度 $^{\circ}\text{C}$	$\alpha_a + \frac{\sin 2\alpha_a}{2}$	$\frac{\alpha_a + \frac{\sin 2\alpha_a}{2}}{l}$
5	1	18	10.8	18.1	28.9		
	2	19	10.8	19.5	30.3		
	3	22	10.8	19.5	30.3		
	平 均				30.0	1.570	0.314
7	1	19	7.6	12.3	19.9		
	2	18.5	7.8	12.8	20.6		
	3	18.8	7.7	12.5	20.2		
	平 均				20.2	1.570	0.224
10	1	18.5	6.8	7.9	14.7		
	2	21.8	6.4	9.3	15.7		
	3	22.5	6.4	6.5	12.9		
	平 均				14.4	1.566	0.157
15	1	23	3.7	4.2	7.9		
	2	22.4	4.0	5.6	9.6		
	3	22	4.4	5.7	10.1		
	平 均				9.2	1.559	0.104
20	1	24	3.0	2.9	5.9		
	2	24	3.0	3.6	6.6		
	3	22.9	3.2	2.8	6.0		
	平 均				6.2	1.535	0.077

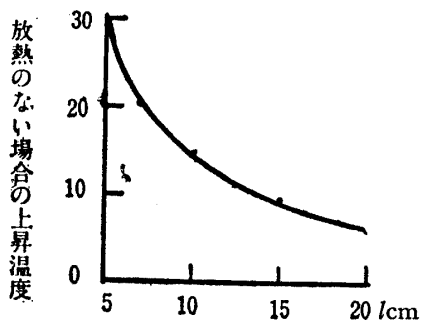
1 表

針金から熱を受けて温度が上昇するがそれと同時に輻射対流等により外気に熱を放散している。先に得た式即飽和温度 θ_s 、温度上昇係数 μ 、上昇温度 θ 、時間 t の間の関係式 $\theta_s - \theta = \theta_s e^{-\mu t l}$ が満足されているかどうかを各実験につき試みた。今の場合大体此式に従っていると思われた。受熱器が放熱のための温度降下は先に得た式 $\theta_s \log \frac{\theta_s - \theta_1}{\theta_s - \theta_2} = (\theta_2 - \theta_1) 2l$ により計算した。今の場合 $\theta_1 = 0$ 、 θ_2 は $\theta_s - (1^\circ \sim 0.4^\circ)$ とした。 θ_1 と θ_2 との間の時間は略同一にした。此量を補正量として θ_s に加えた。かくして針金から受取った熱を放散することなく温度上昇に用いられたものとしたが必ずしも正解は期されないが大体の概値を知るには役立つであろう。先に報告した論文に1分当りの温度降下を用いた θ_2 がそれよりは今の方が遙かに優れていると思う。

IV 実験結果及びその考察

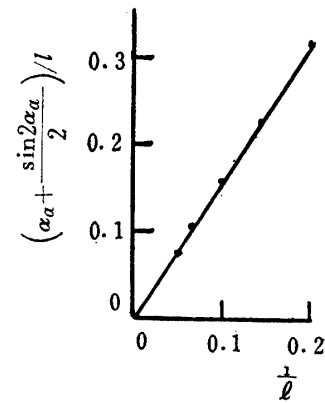
針金の中央から垂直方向に於ける1点が受ける輻射熱による上昇温度と距離との関係の1例をI表に示す。

気温は 18°C から 24°C までの範囲であるが気温からの上昇温度を用いたから気温の影響があっても僅かであろうから之を考へに入れない。放熱のない場合の受熱器の上昇温度と距離の関係を4図に示す。此曲線は双曲線形



4 図

である。I 表の如く $\alpha_a + \frac{\sin 2\alpha_a}{2}$ を距離 l の各値につき計算したがその値は l が大きくなれば少し小さくなる。それは2%位の差であるから殆ど一定と見做され受熱器が受ける輻射熱は概略的に距離に逆比例すると云える。尚念のために $(\alpha_a + \frac{\sin 2\alpha_a}{2})/l$ と $\frac{1}{l}$ との関係を図に示せば5図の通りで直線関係にあることが解る。放熱のない場合の上昇温度と $(\alpha_a + \frac{\sin 2\alpha_a}{2})/l$ との関係を6図に示す。略直線関係が満たされている。II 表は針金の1端から $1/4$ の点に於て針金に垂直方向上の各点が受ける受熱器の上昇温度であり（此場合気温は 22°C 乃至 29°C ）、III 表は針金のその点に於て針金に垂直方向と 10°C の角を、針金の短い側へ取った場合の結果である。II 表及び III 表の結果を夫々7図及び8図に示す。何れも大体



5 図

針金の1端から $\frac{1}{4}$ の点に垂直方向
針金の長さ1m (30V7A)

針金からの 距離 l cm	放熱のない場合 の上昇温度 $^\circ\text{C}$	$(\alpha_a + \frac{\sin 2\alpha_a}{2} + \alpha_b + \frac{\sin 2\alpha_b}{2})/2l$
5	23.6	0.314
7	15.7	0.228
10	11.5	0.156
15	8.9	0.101
20	6.5	0.074
25	4.2	0.056

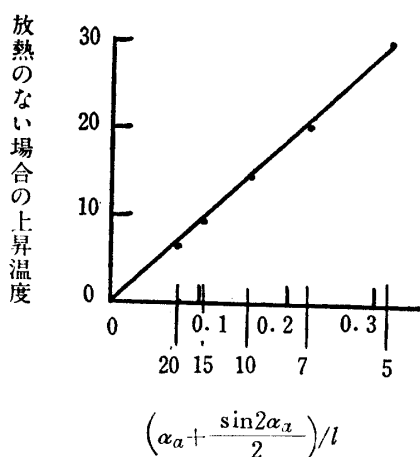
II 表

針金の1端から $\frac{1}{4}$ の点に於て垂線と 10° の角をなす
方向 針金の長さ1m (30V7A)

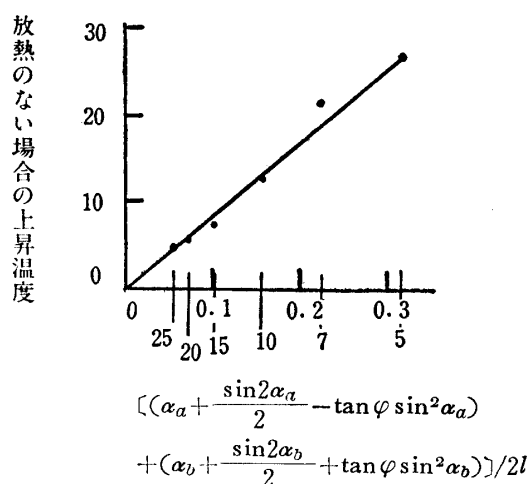
針金からの 距離 l cm	放熱のない場合 の上昇温度 $^\circ\text{C}$	$(\alpha_a + \frac{\sin 2\alpha_a}{2} - \tan \varphi \sin^2 \alpha_a + \alpha_b + \frac{\sin 2\alpha_b}{2} + \tan \varphi \sin^2 \alpha_b)/2l$
5	26.1	0.313
7	21.3	0.223
10	12.3	0.155
15	7.5	0.101
20	5.5	0.072
25	4.5	0.055

III 表

$^\circ\text{C}$), III 表は針金のその点に於て針金に垂直方向と 10°C の角を、針金の短い側へ取った場合の結果である。II 表及び III 表の結果を夫々7図及び8図に示す。何れも大体



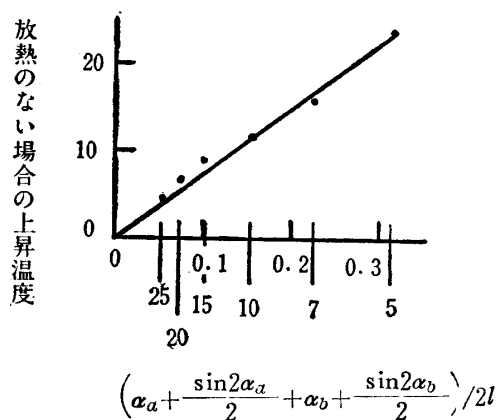
6 図



8 図

$$t = 17 \text{ 分}$$

$$w = 0.37 \text{ gr}$$



7 図

距 離 lcm	k カロリー 分		
	(9) 式	(7) 式	(6) 式
5	2.08	1.65	1.82
7	1.96	1.52	2.08
10	1.99	1.61	1.73
15	1.92	1.92	1.62
20	1.75	1.91	1.66
25	—	1.64	1.78
平 均	1.94	1.71	1.78

IV 表

直線関係が満たされている。之によって理論で得た結果が実験的に証明された。(6), (7), (8) 式の左辺を $w\theta$ とおいた場合 θ は単位時間についての上昇温度であるから実験に要した時間を t とし放熱のない場合の受熱器の上昇温度を θ' とすれば $\theta' = \theta t$ である。 θ の代りに θ' を用いれば例えば(8)式は

$$w\theta' = \frac{kt}{l} \left[\alpha_a + \frac{\sin 2\alpha_a}{2} \right] \dots\dots\dots (9)$$

となる。本実験に於て距離 l を変えても t を一定にしてあるから θ' と $\left(\alpha_a + \frac{\sin 2\alpha_a}{2}\right)/l$ と直線関係にあることは変りない。(6), (7)式についても同様である。I, II, III 表を用い且 $w = 0.37 \text{ gr}$ を採用して⁴⁾ k の値を計算すれば IV 表の如くなる。本実験に於て電圧 30 V 電流 7 A であ

ったから此針金 1 m の発熱量は 1 分間に 3024 カロリーであり 1 cm については 30.24 カロリーである。受熱器に熱効果を与えるのは k であるから IV 表の 3 種の k の平均値は 1.81 である。 k は針金の発熱量の約 6 % と云うことになる。

文 献

- 1) 西京大学学術報告第 2 巻第 1 号 57 (1955)
 - 2) " " " 第 2 号 79 (1956)
 - 3) " " " 第 3 号 65, 69 (1956)
 - 4) " " " " 65 (1956)
- (1960 年 7 月 18 日受理)